温度对甜菜夜蛾飞行能力的影响

江幸福, 罗礼智, 李克斌, 曹雅忠, 胡 毅, 刘悦秋*
(中国农业科学院植物保护研究所, 北京 100094)

摘要: 温度对甜菜夜蛾飞行能力有显著的影响 ($P < 0.05$)。在 16~32℃内, 成虫均能进行正常的飞行活动。24℃下的成虫飞行能力最强, 在 15 h 的吊飞飞行中, 成虫飞行距离最远 (37.14 km)、飞行速度最快 (0.87 m/s)、飞行时间最长 (11.73 h)。温度低于 20℃或高于 28℃时, 其飞行能力均显著降低。甜菜夜蛾在不同温度下飞行时对主要能源物质 (甘油三酯) 的利用效率不同。在较适宜的温度下, 尽管成虫飞行消耗的甘油三酯较多, 但单位飞行距离所消耗的甘油三酯却较少, 即利用效率较高, 表明成虫飞行能源物质利用效率的不同是导致其在不同温度下飞行能力产生差异的主要原因之一。

关键词: 甜菜夜蛾; 温度; 飞行能力; 甘油三酯
中图分类号: Q968.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296 (2002) 02-0275-04

Influence of temperature on flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*

JIANG Xing-Fu, LUO Li-Zhi, LI Ke-Bin, CAO Ya-Zhong, HU Yi, LIU Yue-Qiu (Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China)

Abstract: Flight capacity and triglyceride utilization of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* adults during flight at temperatures from 16℃ to 32℃ were investigated. The moths flying at 24℃ exhibited the greatest flight distance and longest flight duration although they could fly normally at all temperatures tested. Adult flight capacity significantly declined at temperatures below 20℃ or above 28℃. These results suggested that the temperature most suitable for their flight be about 24℃. Utilization of energy substrate by the moths during flight was greatly affected by ambient temperature. Variations in flight capacity of adults at different temperatures were primarily caused by differences in triglyceride utilization efficiency by the moth, i. e., the triglyceride utilized for a given flight distance at suitable temperature was much less than at the unsuitable temperature, which might be one of the major reasons for difference in flight capacity of the moth at different flying temperature.

Key words: *Spodoptera exigua*; temperature; flight capacity; triglyceride

甜菜夜蛾 *Spodoptera exigua* 是一种世界性农业害虫 (章士美和赵泳祥, 1996)。近年来在我国除三北地区以外的广大区域频繁暴发为害, 给农业生产造成了巨大损失, 已经成为我国农业上的主要害虫之一 (江幸福, 1998)。暴发成灾的原因除其产卵量较高、生活周期较短以及抗药性发展迅速外, 还与其远距离迁飞习性及气候因素等密切相关 (江幸福和罗礼智, 1999; Mikkola and Salmensuu, 1965)。为揭示甜菜夜蛾的迁飞行为习性, 作者对成虫飞行能力及其与蛾龄、性别、幼虫食物和成虫期营养的关系进行了研究 (江幸福等, 1998, 1999, 2000)。本文报道温度对甜菜夜蛾飞行能力的影响, 并对其主要原因进行了分析。

1 材料与方法

1.1 饲养方法

幼虫在 28±1℃、约 70% RH、L16:D8 的条件下饲养。先用玉米苗饲养到 2 龄, 然后转移到指形管 (Φ2.1 cm×10 cm) 中用人工饲料饲养 (江幸福等, 1998), 每管接入 3~4 头。成虫羽化后, 配对置于 850 mL 的玻璃瓶内, 每天饲以 5% 的蜂蜜液。

基金项目: 国家"十五"攻关专题资助项目
第一作者简介: 江幸福, 男, 1970 年 9 月生, 在读博士生, 助理研究员, 主要从事昆虫迁飞行为的生理、生态调控机制以及有害生物的可持续控制研究, E-mail: jxf54@263.net
* 刘悦秋现于北京农学院园林系任教
收稿日期 Received: 2001-04-26; 接受日期 Accepted: 2001-12-30

1.2 飞行能力的测定

测试方法同江幸福等（1998）。试虫用室内饲养的 3 日龄雌蛾。吊飞温度依次为 16、20、24、28 和 32℃，相对湿度约 70%，吊飞在完全黑暗的条件下进行，测试时间为 15 h。

1.3 甘油三酯的测定

吊飞结束后，取出 6 头雌蛾进行甘油三酯含量的测定，并以相同日龄的不飞行个体作为对照。试虫用乙醚快速麻醉致死后，在 80℃烘箱中烘干 24 h，称干重，然后放在 – 25℃的冰箱中保存备用。将烘干的虫体去头、足、翅后，加 2 mL 氯仿、甲醇混合液（体积比为 2:1）匀浆、过滤，用 3%的 NaCl 溶液清洗两次，充分振荡混匀，2 000 r/min 离心 10 min 或沉淀 2 h。弃上清液后再用氯仿定容到 10 mL。取 1 mL 抽提液加入含 1 g 硅酸和少许氯仿的三角瓶中振荡，混合 10 min 后，过滤、定容到 10 mL。取 2 mL 进行皂化与未皂化试验。在皂化管中加入 0.2%氢氧化钾乙醇溶液 0.5 mL，在未皂化管中加入无水乙醇 0.5 mL，然后置于 60 ~ 70℃水浴中 15 min。冷却后加入 0.1 mol/L 硫酸 0.5 mL，沸水浴 5 min，再冷却加入 0.05 mol/L 过碘酸钠 0.1 mL，氧化 10 min 后加入 0.5 mol/L 亚砷酸钠 0.1 mL，到黄色转无色后加入 0.2%变色酸 5 mL，振荡，沸水浴 20 min。待冷却后以未皂化管为对照，读取 570 nm 处的光密度值（李克斌和罗礼智，1998）。

试验数据经方差分析统计差异显著后，用 Duncan 多重比较法进行差异显著性测定。

2 结果与分析

2.1 温度对成虫飞行能力的影响

甜菜夜蛾成虫具有较强的飞行能力。3 日龄雌蛾在 15 h 的吊飞过程中，累计最远飞行距离达 67.89 km，最大飞行速度可达 1.33 m/s，最长持续飞行时间为 14.93 h。在试验温度范围内，甜菜夜蛾都能进行正常的飞行活动，但不同温度对成虫的飞行能力有显著的影响（$P < 0.05$，表 1）。无论是从飞行距离、时间以及飞行速度来看，均是 24℃条件下甜菜夜蛾的飞行能力最强，平均可飞行 11.37 h，速度达 0.87 m/s，累计飞行距离为 37.14 km，并显著高于其它温度下的相应值（$P < 0.05$）。温度低于 20℃或高于 28℃时，成虫飞行能力均明显降低（$P < 0.05$）。

2.2 温度对飞行成虫能源物质利用的影响

2.2.1 飞行成虫体重消耗：在测试不同温度对甜菜夜蛾飞行能力影响的同时，测定了甜菜夜蛾飞行后体重变化和含水量的情况。结果表明，3 日龄雌蛾在不同温度下飞行 15 h 后体重消耗以及含水量均有显著的差异（$P < 0.05$）。飞行后体重消耗在 16 ~ 28℃范围内随温度的升高而增加，32℃时体重消耗有所减少，而成虫飞行后体内含水量随温度的升高而逐渐下降（表 2）。这些结果说明，吊飞温度与成虫体重和水分的消耗有着直接的关系。一定温度范围内随着温度的升高，成虫体内水分和体重消耗均有所增加。温度过高时，虽然成虫体重消耗减少，但体内水分消耗仍然增加。

2.2.2 飞行成虫甘油三酯消耗及其利用效率：甜菜夜蛾成虫在不同温度下飞行 15 h 后体内甘油三酯含量差异显著（$P < 0.05$，表 3）。在 24℃下飞行后体内甘油三酯含量最低，与对照相比减少 42.3%，在 20℃和 28℃下飞行后甘油三酯含量较高，分别比对照减少 29.1%和 19.6%，而在 16℃和 32℃下吊飞后体内甘油三酯含量又有所降低。

表 1 温度对甜菜夜蛾成虫飞行能力的影响*

Table 1 Influence of temperature on flight capacity of the adult beet armyworm

温度（℃） Temperature	虫数（头） Number of adults tested	飞行距离（km） Flight distance	飞行时间（h） Flight duration	飞行速度（m/s） Flight speed
16	14	13.86 ± 15.39 b	6.36 ± 5.25 b	0.52 ± 0.17 b
20	10	15.91 ± 14.82 b	6.43 ± 4.47 b	0.60 ± 0.22 b
24	11	37.14 ± 16.19 a	11.37 ± 2.36 a	0.87 ± 0.25 a
28	12	18.50 ± 14.70 b	6.13 ± 4.56 b	0.79 ± 0.13 a
32	13	14.56 ± 14.63 b	5.89 ± 5.06 b	0.60 ± 0.12 b

* 表中所列的数据为平均数 ± 标准差。同一列数据后有不同字母的表示经 Duncan 多重比较后差异显著（$P < 0.05$），下同

The data in the table are presented as mean ± *SD* and those in the same column followed by different letters are significantly different by Duncan's multiple range test（$P < 0.05$）. The same for the following tables

表 2 甜菜夜蛾在不同温度下吊飞 15 h 后的体重消耗及含水量

Table 2 Biomass loss and water content in moths of the beet armyworm after tethered flight for 15 hours at different temperatures

温度（℃）Temperature	虫数（头）Number of adults tested	体重消耗 Biomass loss		飞行后含水量 Water content after flight	
		失重（mg）Lost weight	损失率（%）Lost rate	含水量（mg）Water content	占鲜重比率 % fresh body weight
16	11	10.0 ± 1.1 c	17.8	27.6 ± 7.5 a	49.1
20	10	14.2 ± 3.3 b	22.2	28.7 ± 5.8 a	44.9
24	13	14.8 ± 5.1 b	25.4	22.9 ± 7.0 ab	39.4
28	8	19.9 ± 4.0 a	30.9	20.1 ± 5.6 bc	31.2
32	9	15.1 ± 2.6 b	28.2	15.1 ± 5.6 c	28.2

表 3 甜菜夜蛾在不同温度下吊飞 15 h 后体内甘油三酯含量及其利用效率

Table 3 Content and utilization efficiency of triglyceride in moths of the beet armyworm after tethered flight for 15 hours at different temperatures

温度（℃）Temperature	虫数（头）Number of adults tested	甘油三酯含量 Triglyceride content		每头甘油三酯利用效率（mg/km）Triglyceride utilization efficiency
		含量（mg）Content	与对照相比（%）Compared with ck	
16	6	5.41 ± 0.82 b	– 37.2	0.200
20	6	6.11 ± 1.53 ab	– 29.1	0.158
24	6	4.97 ± 1.52 b	– 42.3	0.080
28	6	6.93 ± 2.05 a	– 19.6	0.112
32	6	5.10 ± 1.32 b	– 40.8	0.298
ck	6	8.62 ± 2.08 a	—	—

这说明成虫在较适宜的温度（24℃）下飞行时消耗的甘油三酯量最多，温度低于或高于 24℃时，成虫飞行消耗的甘油三酯量均有所减少，而温度过低或过高时，飞行消耗的甘油三酯量却又增加。进一步分析成虫在不同温度下飞行后对甘油三酯利用效率的结果表明，尽管在较适宜的温度（24℃）下，成虫飞行消耗的甘油三酯量最多，但单位飞行距离消耗的甘油三酯量却最少。温度低于或高于 24℃时，单位飞行距离消耗的甘油三酯量均逐渐增加，这说明在适宜温度下飞行时甘油三酯利用效率较高。

3 讨论

温度对昆虫迁飞的影响不仅反映在昆虫生长发育时间的长短，而且还对成虫迁飞过程具有重要作用。迁飞昆虫一般都具有飞行的起始温度，在飞行过程中还存在最适飞行温度。明确温度对迁飞昆虫飞行能力的影响对于揭示其迁飞的诱导因素、起飞时期以及迁飞层的位置等规律均具有重要意义。甜菜夜蛾在 16 ~ 32℃范围内均能进行飞行活动，但较适宜飞行温度为 24℃左右，温度低于 20℃或高于 28℃时，成虫飞行能力均显著降低。这不仅表明温度对甜菜夜蛾飞行能力有显著的影响，而且还说明其飞行时所要求的温度较高。

目前对夜蛾科昆虫飞行能源物质利用的研究表明，主要的飞行能源物质为脂类和糖类（曹雅忠等，1995；Gann and Gatehouse，1988）。甜菜夜蛾也能利用这两类能源物质为其飞行提供能量，糖类在起飞初期动用，而脂类（甘油三酯）则主要在持续飞行中动用（未发表资料）。甜菜夜蛾在不同温度下飞行单位距离所需的能源物质并不一样，在较适宜的温度下，尽管成虫飞行能力最强，飞行所消耗的甘油三酯最多，但单位飞行距离所需的甘油三酯最少，即飞行能源物质利用效率最高。而在不适宜的温度下，尽管成虫飞行所消耗的甘油三酯较少，但其飞行能力较差，单位飞行距离所需的甘油三酯显著增加，即飞行能源物质利用效率较低，由此建立了飞行能源物质利用效率的概念。这表明成虫在不同温度下飞行时对甘油三酯利用效率的高低是导致其飞行能力差异的主要原因之一。

参 考 文 献 (References)

Cao Y Z, Luo L Z, Li G B, Hu Y, 1995. The relationship between utilization of energy materials and sustained flight in the moths of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomol. Sin.*, 38 (3): 290－295.［曹雅忠，罗礼智，李光博，胡毅，1995. 粘虫飞翔能源物质及其消耗. 昆虫学报，38 (3): 290－295］

Gunn A, Gatehouse A G, 1988. The development of enzymes involved in flight muscle metabolism in *Spodoptera exempta* and *Mythimna separata*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 91 (2): 315－324.

Jiang X F, 1998. Investigation on outbreak and control of the beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hb.) in China. *Agrochemical Science and Technology*, 6: 8－10.［江幸福，1998. 甜菜夜蛾在我国的发生为害及防治概况. 农资科技，6: 8－10］

Jiang X F, Luo L Z, 1999. Outbreak of *Spodoptera exigua* (Hb.) and its control. *Plant Protection*, 25 (3): 32－34.［江幸福，罗礼智，1999. 甜菜夜蛾暴发原因及防治对策. 植物保护，25 (3): 32－34］

Jiang X F, Luo L Z, Hu Y, 1998. The relationship between flight capacity and moth ages of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. In: Cheng D F ed. The 21st Century Prospect of Plant Protection. Beijing: China Science and Technology Press. 568－571.［江幸福，罗礼智，胡毅，1998. 甜菜夜蛾飞行能力及其与蛾龄的关系. 见：程登发主编. 植物保护二十一世纪展望. 北京：中国科学技术出版社. 568－571］

Jiang X F, Luo L Z, Hu Y, 1999. Influence of larval diets on development, fecundity and flight capacity of the beet armyworm, *Spodoptera exigua*. *Acta Entomol. Sin.*, 42 (3): 270－276.［江幸福，罗礼智，胡毅，1999. 幼虫食物对甜菜夜蛾生长发育、繁殖及飞行的影响. 昆虫学报，42 (3): 270－276］

Jiang X F, Luo L Z, Hu Y, 2000. The effect of compensatory nutrition condition on flight ability of beet armyworm, *Spodoptera exigua* (Hübner). *Acta Phytophyl. Sin.*, 27 (4): 327－332.［江幸福，罗礼智，胡毅，2000. 成虫期营养对甜菜夜蛾飞行和生殖的影响. 植物保护学报，27 (4): 327－332］

Li K B, Luo L Z, 1998. Effects of larval rearing density on energetic reserves in the adults of oriental armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomol. Sin.*, 41 (3): 250－257.［李克斌，罗礼智，1998. 粘虫幼虫密度对成虫能源物质含量的影响. 昆虫学报，41 (3): 250－257］

Mikkola K, Salmensuu P, 1965. Migration of *Laphygma exigua* (Lep., Noctuidae) in northwestern Europe in 1964. *Ann. Zool. Fenn.*, 2: 124－139.

Zhang S M, Zhao Y X, 1996. Geographical Distribution of Agricultural and Forestry Insects in China. Beijing: China Agricultural Press. 260－261.［章士美，赵泳祥，1996. 中国农林昆虫地理分布. 北京：中国农业出版社. 260－261］